

经颅直流电刺激治疗注意缺陷多动障碍的研究进展

黄家豪

重庆医科大学附属儿童医院青少年生长发育与心理健康中心, 儿童神经发育与认知障碍重庆市重点实验室, 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 重庆

收稿日期: 2025年4月21日; 录用日期: 2025年5月13日; 发布日期: 2025年5月22日

摘要

注意缺陷多动障碍(Attention Deficit Hyperactivity Disorder, ADHD)是一种常见的儿童神经发育障碍, 严重影响患者的生活质量和学业成就, 给家庭和社会带来一定的负担, 传统治疗方法(如药物治疗和社会心理行为疗法)有一定疗效, 但存在副作用和个体差异等问题。经颅直流电刺激(Transcranial Direct Current Stimulation, tDCS)是目前应用最广泛的一种非侵入性神经调节技术, 为物理治疗的一种, 因其安全性和可操作性受到广泛认可, 但ADHD治疗相关的研究尚处于起步阶段。本文在回顾大量现有文献, 分析ADHD发病机制和原理的基础上, 从治疗机制、安全性、刺激参数等方面对近年来tDCS治疗ADHD的相关研究进行了总结, 以期对ADHD的干预提供新的思路和方法。

关键词

经颅直流电刺激, 注意缺陷多动障碍, 执行功能

Research Advances in Transcranial Direct Current Stimulation for Attention Deficit Hyperactivity Disorder

Jiahao Huang

Growth, Development and Mental Health Center of Children and Adolescents, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing Key Laboratory of Child Neurodevelopment and Cognitive Disorders, National Clinical Research Center for Child Health and Disorders, Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders, Chongqing

Received: Apr. 21st, 2025; accepted: May 13th, 2025; published: May 22nd, 2025

Abstract

Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD), a prevalent neurodevelopmental disorder in children, significantly impacts patients' quality of life and academic performance, imposing considerable burdens on families and society. While conventional treatments such as pharmacotherapy and psychosocial behavioral interventions demonstrate partial efficacy, they are associated with side effects and individual variability. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS), currently the most extensively applied non-invasive neuromodulation technique, offers physical therapeutic potential. Its recognized safety profile and operational feasibility have garnered widespread acceptance, though research on ADHD treatment remains in its nascent stage. This review synthesizes existing literature and analyzes ADHD's pathogenic mechanisms to systematically evaluate recent tDCS studies in ADHD management, encompassing therapeutic mechanisms, safety considerations, and stimulation parameters. The findings aim to provide novel insights and methodological advancements for ADHD intervention strategies.

Keywords

Transcranial Direct Current Stimulation, Attention Deficit Hyperactivity Disorder, Executive Function

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

ADHD 是一种起病于儿童时期的慢性神经发育障碍性疾病,其核心症状为与发育水平不相称的注意缺陷和(或)多动冲动,全球儿童发病率约为 7.2% [1]。该病常常幼年起病,影响可延续至成年,严重影响患者的生活质量和职业成就。ADHD 的治疗方法包括药物治疗、社会心理行为治疗等[2] [3]。药物治疗(如中枢兴奋剂哌甲酯和非中枢兴奋剂托莫西汀)短期内可改善核心症状,但其长期安全性证据不足,且存在生长抑制、心血管风险等副作用以及高治疗脱落率[4] [5]。社会心理行为治疗虽被广泛推荐,但需高频次干预,且对儿童注意力的改善有限[6]。因此,开发新型治疗方法以改善目前 ADHD 的治疗困境成为当前研究的重点之一。

近年来,非侵入性脑刺激技术(Non-Invasive Brain Stimulation, NIBS)越来越多地应用于 ADHD,最突出的是 tDCS。现有证据表明, NIBS 可作为 ADHD 兴奋剂类药物的潜在替代治疗方案[7]。tDCS 具有较高的安全性和耐受性,适用于学龄儿童及青少年。本文旨在进一步阐述 tDCS 治疗 ADHD 的基本原理、治疗效果及安全性,为 ADHD 儿童的临床干预和治疗提供更多依据。

2. ADHD 的执行功能缺陷

执行功能是前额叶皮层及其皮层下神经网络调控的高阶认知系统,负责目标导向行为的规划、监控与动态适应。Zeluzo 等最早将执行功能区分为“冷”、“热”执行功能。“冷”执行功能指涉及抽象、去情境化的认知过程,由背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)与顶叶后部组成的“认知控制网络”驱动,涵盖抑制控制、工作记忆与认知灵活性等维度。“热”执行功能则涉及与情感和动机整合相关的认知过程,如延迟满足、风险决策及情绪调节等,由眶额叶皮层及腹侧纹状体构成的“奖赏评估网

络”介导[8]。

ADHD 患者的执行功能缺陷呈现显著异质性——“冷”执行功能障碍具有全领域普遍性：① ADHD 患者在需要抑制冲动的任务中，表现出较高的错误率和较低的准确性，tDCS 阳极刺激左侧 DLPFC 可以调节认知控制回路，增强 DLPFC 的活性[9]；② ADHD 患者在工作记忆任务中的表现明显低于正常儿童，尤其是在需要同时处理和更新信息的任务中，其神经基础与 DLPFC-顶叶后部功能连接减弱有关[10]；③ 认知灵活性缺陷在任务转换范式中表现为错误率增加，与基底节多巴胺 D2 受体密度降低存在剂量效应关系[5]。而“热”执行功能异常则表现出情境依赖性，仅在生态效度高的任务中显著，例如低奖赏条件下冲动选择率升高，负性情绪干扰下的错误率增加[11]。这些发现为基于神经调控的靶向干预提供了理论依据。

3. tDCS 治疗 ADHD 的基本原理

tDCS 通过小电极将微量持续的电流(1~2 mA)传递至特定的大脑皮层区域，从而调节皮层的兴奋性和可塑性[12]。具体而言，阳极刺激下的神经元膜会去极化，能增强该区域的神经元兴奋性，而阴极刺激则会导致神经元膜超极化，从而抑制相应区域的神经活动。这种电流的作用可以在短期内改变神经元的兴奋性，并可能导致长期的神经可塑性变化，如突触强度的增强或减弱，这被称为长时程增强或长时程抑制[13]。tDCS 通过微弱的电流改变目标脑区的兴奋性，从而改善受试者的注意力、工作记忆、冲动控制等认知功能，尤其是在 ADHD 患者中表现出良好的效果[14][15]。

目前关于 tDCS 治疗 ADHD 的神经环路机制研究仍处于探索阶段，尚未形成广泛共识或明确的靶向环路模型。tDCS 治疗 ADHD 的机制可能通过调节前额叶-基底神经节-丘脑环路的关键节点发挥作用。tDCS 阳极刺激可能增强背外侧前额叶皮层的兴奋性，提升执行功能网络(如前扣带回与顶叶皮层的连接)调控能力，同时调节默认模式网络的活动强度，从而改善 ADHD 患者的注意力缺陷和行为抑制缺陷。此外，tDCS 可能通过平衡皮层下多巴胺能系统及谷氨酸- γ -氨基丁酸能神经递质传递，调节神经可塑性以优化环路功能[16]。

4. tDCS 的治疗参数及安全性

4.1. tDCS 的治疗参数

tDCS 的有效性与多个参数密切相关，包括刺激强度、持续时间、刺激频率、电极位置和电极尺寸等。tDCS 治疗 ADHD 的刺激强度至关重要。一般来说，tDCS 的刺激强度通常设定在 1~2 mA 之间。一项系统综述显示，2 mA 的刺激强度在成人 ADHD 患者中能诱导出更强的电场，并与显著的行为变化相关联。然而，对于儿童患者，由于其头部尺寸较小，1 mA 的刺激强度可能会产生足够的电场以引发显著的行为变化[13]。刺激强度的选择还应考虑个体差异和 ADHD 的具体症状表现。一些研究指出，ADHD 患者在不同的刺激强度下可能表现出不同的反应[14]。

刺激时间和刺激频率也是重要的参数，单次刺激通常 10~30 分钟(儿童 10~20 分钟)，每日或隔日 1 次，疗程 ≤ 20 次。最近的一项系统综述显示，儿童和青少年(5~17 岁)在 tDCS 应用中，0.5~2 mA 范围内持续 10~20 分钟， ≤ 20 次，tDCS 似乎是安全且可耐受的[17]。低频率和较长时间的刺激可能会更有效地改善 ADHD 的症状，而高频率的短时间刺激可能会导致神经的过度兴奋，反而不利于症状的改善[18][19]。

刺激位置是另一个重要参数，由于 tDCS 的电流穿透深度限制(约 2.5 cm)，其作用范围集中于 DLPFC 与额下回(inferior frontal gyrus, IFG)等表层脑区[20]，对应国际 10~20 导联系统的 F3/F4 或 Fp2/F8 处。DLPFC 是认知控制网络的重要组成部分，因此 DLPFC 常被选为 ADHD 的靶向刺激区；自从 Jacobson 等在 2011 年[21]发现阳极 tDCS 刺激右侧 IFG 可显著改善受试者的反应抑制能力，该区域也被视为 ADHD

治疗的靶向区域之一。

除此之外,电极尺寸也是 tDCS 治疗效果的重要参数之一,成人常用 25~35 cm² 电极,儿童因头部较小建议采用更小电极(如 5×5 cm),以提高聚焦性。然而关于电极尺寸对运动皮层兴奋性的调控效应仍存在争议,部分研究报道较大电极可诱导更强的皮质脊髓兴奋性,但多项随机对照试验未发现电极尺寸与皮层兴奋性改变存在显著关联[13]。

4.2. tDCS 的安全性

tDCS 的安全性评估显示,其副作用整体呈轻至中度。在一项针对 ADHD 患者的研究中,tDCS 的副作用发生率并未显著高于安慰剂组,且所有不良事件均为轻微且短暂的[22]。成人及儿童的副作用几乎相同,超过 60% 的个体报告短暂性皮肤反应(如局部瘙痒、轻微的刺痛、烧灼感或皮肤发红)[23][24],其次为低概率的头痛和食欲下降等[12][19],上述症状通常在刺激停止后自发缓解。极少数个案报道了癫痫患者刺激后症状复发或抑郁症患者出现躁狂倾向,但缺乏直接证据表明其与 tDCS 存在因果关系[25][26]。

tDCS 的安全性特征呈现显著的刺激参数依赖性,电流强度、单次刺激时长与皮肤不良反应发生率呈正相关,而电极尺寸则显著影响电流的空间分布范围。循证医学证据表明,当电流强度超过 2 mA 或单次刺激时长 > 30 分钟时,儿童群体中感觉异常和皮肤刺激症状显著增加;而采用优化参数组合(1 mA × 20 min, 电极尺寸 ≥ 25 cm²)时严重不良事件发生率可降至 0.4% [20]。尽管 tDCS 的安全性较高,但仍需注意个体差异可能导致的不同反应。部分研究指出,某些患者可能对 tDCS 的刺激敏感,导致不适感或其他轻微副作用[27]。因此,在临床应用中,建议对患者进行充分的评估,以确定其适合接受 tDCS 治疗,并在治疗过程中密切监测其反应。

5. tDCS 在 ADHD 的应用

5.1. tDCS 治疗 ADHD 的临床研究

目前,大多数 tDCS 的研究对象是患有 ADHD 的儿童,针对成人的研究相对较少。多项研究表明,tDCS 能够显著改善 ADHD 患者的认知功能和行为表现。一项系统评价显示,tDCS 对 ADHD 患者的注意力、抑制控制和工作记忆等方面均有积极影响[15][28]。研究发现,针对左侧 DLPFC 的 tDCS 阳极刺激可显著改善 8~16 岁 ADHD 患者的注意力不集中症状和认知灵活性[29]。另一项研究发现,针对右侧前额叶皮层的 tDCS 能够增强多巴胺能通路的活动,从而改善 ADHD 患者的努力维持和激励行为[30]。此外,一项针对成人 ADHD 的随机临床试验(RCT)表明,对未服用兴奋剂药物的成人 ADHD 患者进行 tDCS 治疗能够显著减少注意力缺陷症状,且效应量较大[12]。

近年来,tDCS 作为一种非侵入性脑刺激技术,其在改善 ADHD 患者抑制控制功能缺陷方面的干预潜力,目前已受到学界广泛关注。一项荟萃分析汇总了 10 项 RCT 的数据,结果表明,tDCS 显著改善了 ADHD 患者的抑制控制能力,且在某些情况下,治疗效果在结束后仍能维持数周[14][31]。多项研究表明,施加在 DLPFC 上的 tDCS 能够显著提高 ADHD 患者在抑制控制任务中的表现[32][33]。此外,tDCS 还被发现能改善 ADHD 患者在抑制控制任务中的反应时间和准确性,这表明其在提升抑制控制能力方面具有潜在的临床应用价值[14]。

现有研究结果显示 tDCS 对 ADHD 患者工作记忆有一定的积极作用,能够显著提高 ADHD 患者在工作记忆任务中的表现,尤其是在信息处理速度方面[5][31]。同时,阳极刺激左侧 DLPFC 后工作记忆容量较基线水平显著增加,其作用可能与 DLPFC-前扣带回 θ 频段功能连接增强显著相关[34]。tDCS 还与神经生理学指标的变化相关联,如 tDCS 通过影响脑电图中的 P300 波幅,进一步表现出工作记忆的改善[35]。

除此之外,研究还发现右侧前额叶的阳极刺激与左侧前额叶的阴极刺激组合能够有效降低 ADHD 患者的风险决策行为[36]。tDCS 与认知训练相结合也呈现出更好的干预效果,提示 tDCS 可作为一种辅助治疗手段,与传统非药物疗法相结合以提高疗效[37]。

总体而言,tDCS 通过调节靶向区域的皮层活动,在抑制控制、工作记忆、认知灵活性以及注意力改善等方面均具有显著的治疗效果。尽管 tDCS 在 ADHD 治疗中展现了良好的前景,仍需注意的是,现有研究的样本量普遍较小,且研究设计和结果评估标准不一,尚需进行更多研究以提升循证证据级别。因此,未来需要进行更大规模的 RCT,进一步验证 tDCS 在 ADHD 治疗中的长期效果和安全性。

5.2. tDCS 治疗 ADHD 的争议

目前临床专家对 tDCS 干预 ADHD 患者的疗效评价尚未达成共识。早期的元分析表明,tDCS 在改善 ADHD 患者的抑制控制、处理速度和注意缺陷方面并未表现出显著效果[7]。后续部分 RCT 研究也证实未发现 tDCS 对抑制控制损害具有显著改善效果[18]。而在工作记忆领域,尽管部分研究报道阳极刺激左侧 DLPFC 可使 N-back 任务准确率提升,但该效应仅在轻度 ADHD 患者中呈现稳定获益[38]。Schertz 等的研究显示,ADHD 儿童左侧 tDCS 刺激联合认知训练并未显著改善患儿工作记忆[19]。有学者提出,tDCS 在改善神经心理症状方面显示出积极的效果,但其在临床症状上的改善效果仍然有限,这可能与以下因素相关:刺激参数差异(如阳极刺激左背外侧前额叶皮层可改善注意力,而阴极刺激可能增强抑制控制;电极靶点选择和电流密度不同导致结果不一致)、疗程数量(多次刺激通过诱导神经可塑性产生持久效果,而单次刺激效应短暂)以及任务同步性(tDCS 联合认知训练可能增强效果)。此外,个体神经活动基线水平、年龄差异及共病情况也可能影响疗效[15]。

当前的争议性结果主要源于刺激方案缺乏标准化,随着技术的进步、刺激参数的优化以及治疗方案的不断完善,后续系统综述显示,当 tDCS 精准靶向特定脑区并结合多疗程干预时,其在不同认知维度(抑制控制、工作记忆、认知灵活性以及注意力)的临床效益显著[39]。目前,我国 2022 年发布的《经颅直流电治疗常见神经精神疾病的临床应用专家共识》中,已建议将 tDCS 作为 ADHD 的干预手段之一[40]。共识明确指出,tDCS 通过 1~5 次治疗可显著改善 ADHD 患者的临床症状及认知功能,针对 ADHD 的 tDCS 干预方案可选用左侧 DLPFC 或右侧 IFC 为阳极靶点,电流密度要求未成年人 $\geq 0.286 \text{ A/m}^2$,成年人 $\geq 0.800 \text{ A/m}^2$,单次治疗时间不少于 15 分钟。

值得注意的是,尽管短期研究显示 tDCS 能够改善 ADHD 患者的认知功能,但现有研究未能对 tDCS 治疗后的长期效果进行系统评估,导致我们对其在 ADHD 治疗中的长期效应缺乏明确认知[15] [28]。

6. 总结与展望

随着对 tDCS 技术在 ADHD 治疗中的研究不断深入,现有研究结果显示出其具备良好的治疗潜力,特别是在改善患者的注意力和认知功能方面。tDCS 作为一种非侵入性脑刺激技术,其简便性和安全性使其成为 ADHD 治疗领域中的一项新兴手段。

在分析不同研究的观点和发现时,必须承认 tDCS 技术在不同患者群体中可能表现出不同的效果。这种异质性可能与患者的年龄、病程、脑部功能及基线神经生理状态等多种因素相关。这使得我们在解读相关研究时,既要关注整体趋势,也要重视个体差异,以便为临床实践提供更具针对性的指导。在这一过程中,研究者需要对不同研究中使用的刺激参数、评估工具和样本规模等进行全面的比较,以便揭示出影响 tDCS 治疗效果的关键因素。

当前 ADHD 的 tDCS 治疗评估主要依赖传统行为学指标,如 ADHD 评定量表总分变化、持续操作测试反应时波动系数以及临床总体印象量表改善度等。这些量表和行为学范式虽能反映核心症状的宏观改

变,但难以揭示神经调控的靶向机制。未来评估体系可在整合上述临床指标的基础上,深化多模态神经标记物分析:通过功能磁共振量化默认模式网络与背侧注意网络的动态耦合强度,结合弥散张量成像追踪前额叶-纹状体白质纤维束的重塑进程;同步采用脑电图解析前额叶的脑电波形。在此基础上,可进一步结合 PET-MRI 多模态影像构建纹状体多巴胺 D2/D3 受体占有率与 tDCS 刺激参数的剂量效应模型,同时开发虚拟现实生态效度范式实时监测注意力维持时长与冲动抑制等的协同改善曲线。通过这种“症状-环路-分子”三级评估框架,最终实现从经验性症状改善向神经机制靶向验证的评估范式升级。

未来关于 tDCS 在 ADHD 治疗中的应用研究方向应当集中在多个关键领域。首先,研究者需要深入探讨 tDCS 的刺激参数,包括刺激位置、极性、强度、持续时间和重复频率等对治疗效果的影响。现有研究显示,不同的刺激参数可能导致不同的临床效果,未来的研究应系统评估这些参数与个体差异之间的关系,以优化治疗方案并提高疗效。其次,研究应考虑 tDCS 与其他治疗方法的联合应用。将 tDCS 与认知训练结合使用可能会增强其治疗效果[28]。这种综合治疗策略不仅可以提高 ADHD 患者的注意力和执行功能,还可能改善情绪调节能力,从而为患者提供更全面的治疗方案。在此基础上,虚拟现实和人工智能等新兴技术可以与 tDCS 结合,开发出更为个性化和有效的治疗方法[41]。此外,数字健康工具的应用也为 ADHD 的管理提供了新的思路。例如,结合 tDCS 的数字应用程序可以根据患者的实时表现调整刺激参数,以优化治疗效果[42]。这种动态调整的治疗方式不仅提高了治疗的灵活性,还能增强患者的参与感和治疗依从性。最后,未来的研究需要进行大规模的随机对照试验,以验证 tDCS 在 ADHD 治疗中的长期效果和安全性。大样本 RCT 还可以帮助识别不同患者群体对 tDCS 的反应差异。例如,ADHD 患者的症状表现和神经生物学机制存在显著个体差异,通过大规模研究,可精准识别与 tDCS 疗效相关的患者特征(如性别、年龄、ADHD 亚型等),从而为个性化治疗提供依据。

开展多中心、大样本的随机对照试验将有助于进一步明确 tDCS 的临床应用价值,并为其在 ADHD 治疗中的推广提供坚实的证据基础。

综上所述,tDCS 作为 ADHD 治疗的一种新兴手段,展现出了良好的前景,但其临床应用尚需进一步的验证和优化。科研和临床实践的良性互动将推动这一领域的发展,使 tDCS 能够更好地服务于 ADHD 患者,为他们的康复之路提供新的希望。在未来的研究中,希望能建立起更为全面的治疗框架和疗效评价体系,以实现个体化、精确化的治疗方案,最终提高 ADHD 患者的生活质量。

参考文献

- [1] Thomas, R., Sanders, S., Doust, J., Beller, E. and Glasziou, P. (2015) Prevalence of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pediatrics*, **135**, e994-e1001. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-3482>
- [2] 金星明, 李廷玉, 陈立, 等. 美国发育行为儿科学会儿童及青少年复杂注意缺陷多动障碍评估和治疗的临床实践指南解读[J]. 中华儿科杂志, 2021, 59(11): 912-915.
- [3] 中华医学会儿科学分会发育行为学组. 注意缺陷多动障碍早期识别、规范诊断和治疗的儿科专家共识[J]. 中华儿科杂志, 2020, 58(3): 188-193.
- [4] Bjerkeli, P.J., Perez Vicente, R., Mulinari, S., Johnell, K. and Merlo, J. (2018) Overuse of Methylphenidate: An Analysis of Swedish Pharmacy Dispensing Data. *Clinical Epidemiology*, **10**, 1657-1665. <https://doi.org/10.2147/celep.s178638>
- [5] Rubia, K. (2022) Neurotherapeutics for ADHD: Do They Work? *PsyCh Journal*, **11**, 419-427. <https://doi.org/10.1002/pchj.544>
- [6] Cortese, S., Ferrin, M., Brandeis, D., Holtmann, M., Aggensteiner, P., Daley, D., et al. (2016) Neurofeedback for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Meta-Analysis of Clinical and Neuropsychological Outcomes from Randomized Controlled Trials. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, **55**, 444-455. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2016.03.007>
- [7] Westwood, S.J., Radua, J. and Rubia, K. (2021) Noninvasive Brain Stimulation in Children and Adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, **46**,

- E14-E33. <https://doi.org/10.1503/jpn.190179>
- [8] Zelazo, P.D. and Müller, U. (2010) Executive Function in Typical and Atypical Development. In: Goswami, U., Ed., *The Wiley-Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development*, 2nd Edition, Wiley Blackwell, 574-603. <https://doi.org/10.1002/9781444325485.ch22>
 - [9] Carrick, A. and Hamilton, C.J. (2023) Heated Behaviour in the Classroom for Children with FASD: The Relationship between Characteristics Associated with ADHD, ODD and ASD, Hot Executive Function and Classroom Based Reward Systems. *Children*, **10**, Article 685. <https://doi.org/10.3390/children10040685>
 - [10] Kofler, M.J., Soto, E.F., Singh, L.J., Harmon, S.L., Jaisle, E.M., Smith, J.N., *et al.* (2024) Executive Function Deficits in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder and Autism Spectrum Disorder. *Nature Reviews Psychology*, **3**, 701-719. <https://doi.org/10.1038/s44159-024-00350-9>
 - [11] Colonna, S., Eyre, O., Agha, S.S., Thapar, A., van Goozen, S. and Langley, K. (2022) Investigating the Associations between Irritability and Hot and Cool Executive Functioning in Those with ADHD. *BMC Psychiatry*, **22**, Article No. 166. <https://doi.org/10.1186/s12888-022-03818-1>
 - [12] Leffa, D.T., Grevet, E.H., Bau, C.H.D., Schneider, M., Ferrazza, C.P., da Silva, R.F., *et al.* (2022) Transcranial Direct Current Stimulation vs Sham for the Treatment of Inattention in Adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. The TUNED Randomized Clinical Trial. *JAMA Psychiatry*, **79**, 847-856. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2022.2055>
 - [13] Salehinejad, M.A., Nejati, V., Mosayebi-Samani, M., Mohammadi, A., Wischnewski, M., Kuo, M., *et al.* (2020) Transcranial Direct Current Stimulation in ADHD: A Systematic Review of Efficacy, Safety, and Protocol-Induced Electrical Field Modeling Results. *Neuroscience Bulletin*, **36**, 1191-1212. <https://doi.org/10.1007/s12264-020-00501-x>
 - [14] Salehinejad, M.A., Wischnewski, M., Nejati, V., Vicario, C.M. and Nitsche, M.A. (2019) Transcranial Direct Current Stimulation in Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: A Meta-Analysis of Neuropsychological Deficits. *PLOS ONE*, **14**, e0215095. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215095>
 - [15] Cosmo, C., DiBiasi, M., Lima, V., Grecco, L.C., Muszkat, M., Philip, N.S., *et al.* (2020) A Systematic Review of Transcranial Direct Current Stimulation Effects in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Affective Disorders*, **276**, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.06.054>
 - [16] Feeser, M., Prehn, K., Kazzer, P., Mungee, A. and Bajbouj, M. (2014) Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Cognitive Control during Emotion Regulation. *Brain Stimulation*, **7**, 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2013.08.006>
 - [17] Buchanan, D.M., Amare, S., Gaumond, G., D'Angiulli, A. and Robaey, P. (2023) Safety and Tolerability of tDCS across Different Ages, Sexes, Diagnoses, and Amperages: A Randomized Double-Blind Controlled Study. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article 4346. <https://doi.org/10.3390/jcm12134346>
 - [18] D'Aiello, B., Lazzaro, G., Battisti, A., Pani, P., Di Vara, S., De Rossi, P., *et al.* (2023) Methylphenidate Is More Effective to Improve Inhibitory Control and Working Memory Compared to tDCS in Children and Adolescents with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder: A Proof-of-Concept Study. *Frontiers in Neuroscience*, **17**, Article 1170090. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1170090>
 - [19] Schertz, M., Karni-Visel, Y., Genizi, J., Manishevitch, H., Lam, M., Akawi, A., *et al.* (2022) Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in Children with ADHD: A Randomized, Sham-Controlled Pilot Study. *Journal of Psychiatric Research*, **155**, 302-312. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2022.08.022>
 - [20] Breitling, C., Zaehle, T., Dannhauer, M., Bonath, B., Tegelbeckers, J., Flechtner, H., *et al.* (2016) Improving Interference Control in ADHD Patients with Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). *Frontiers in Cellular Neuroscience*, **10**, Article 72. <https://doi.org/10.3389/fncel.2016.00072>
 - [21] Jacobson, L., Javitt, D.C. and Lavidor, M. (2011) Activation of Inhibition: Diminishing Impulsive Behavior by Direct Current Stimulation over the Inferior Frontal Gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **23**, 3380-3387. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00020
 - [22] Boetzel, C. and Herrmann, C.S. (2021) Potential Targets for the Treatment of ADHD Using Transcranial Electrical Current Stimulation. In: *Progress in Brain Research*, Elsevier, 151-170. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2021.01.011>
 - [23] Rubia, K. (2021) Editorial: Precision Medicine in Neurotherapeutics for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, **60**, 813-815. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2020.11.013>
 - [24] Salehinejad, M.A., Ghayerin, E., Nejati, V., Yavari, F. and Nitsche, M.A. (2020) Domain-Specific Involvement of the Right Posterior Parietal Cortex in Attention Network and Attentional Control of ADHD: A Randomized, Cross-Over, Sham-Controlled tDCS Study. *Neuroscience*, **444**, 149-159. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.07.037>
 - [25] Loo, C.K., Sachdev, P., Martin, D., Pigot, M., Alonzo, A., Malhi, G.S., *et al.* (2009) A Double-Blind, Sham-Controlled Trial of Transcranial Direct Current Stimulation for the Treatment of Depression. *The International Journal of Neuropsychopharmacology*, **13**, 61-69. <https://doi.org/10.1017/s1461145709990411>
 - [26] Ekici, B. (2015) Transcranial Direct Current Stimulation-Induced Seizure. *Clinical EEG and Neuroscience*, **46**, 169-169.

- <https://doi.org/10.1177/1550059414540647>
- [27] Estaji, R., Hosseinzadeh, M., Arabgol, F. and Nejati, V. (2024) Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Improves Emotion Regulation in Children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *Scientific Reports*, **14**, Article No. 13889. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64886-9>
 - [28] Steen García, L., Franco Jiménez, R. and Ibáñez Alfonso, J.A. (2024) Estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) en adultos con trastorno por déficit de atención/hiperactividad. Una revisión sistemática. *Revista de Neurología*, **79**, 239-246. <https://doi.org/10.33588/rn.7909.2024294>
 - [29] Guimarães, R.S.Q., Bandeira, I.D., Barretto, B.L., Barretto, T.L., Wanke, T., Alves, C.O.C., *et al.* (2021) The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Attention and Inhibitory Control of Children and Adolescents with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Medicine*, **100**, e24283. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000024283>
 - [30] Vöckel, J., Kühnel, A., Rossberg, R., Geist, N., Sigrist, C., Pokorný, L., *et al.* (2024) Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Effort Maintenance in ADHD. *Brain Stimulation*, **17**, 899-906. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2024.07.018>
 - [31] Abubaker, M., Al Qasem, W. and Kvašňák, E. (2021) Working Memory and Cross-Frequency Coupling of Neuronal Oscillations. *Frontiers in Psychology*, **12**, Article 756661. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.756661>
 - [32] dos Santos, R.M., Marinho, V., de Araújo Val, S.N., Teles, A.S., Sousa, D.L., do Vale Bastos, V.H., *et al.* (2024) Breaking Boundaries: A Systematic Review of the Application of Non-Invasive Brain Stimulation Symptoms and Sleep Parameters in People with ADHD. *International Journal of Developmental Neuroscience*, **85**, e10401. <https://doi.org/10.1002/jdn.10401>
 - [33] Shen, F. and Zhou, H. (2024) Effects of Non-Invasive Brain Stimulation on Emotion Regulation in Patients with Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Systematic Review. *Frontiers in Psychiatry*, **15**, Article 1483753. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1483753>
 - [34] Breitling, C., Zaehle, T., Dannhauer, M., Tegelbeckers, J., Flechtner, H. and Krauel, K. (2020) Comparison between Conventional and HD-tDCS of the Right Inferior Frontal Gyrus in Children and Adolescents with ADHD. *Clinical Neurophysiology*, **131**, 1146-1154. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.12.412>
 - [35] Klomjai, W., Siripornpanich, V., Aneksan, B., Vimolratana, O., Permpoonputtana, K., Tretriluxana, J., *et al.* (2022) Effects of Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation on Inhibitory and Attention Control in Children and Adolescents with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: A Pilot Randomized Sham-Controlled Crossover Study. *Journal of Psychiatric Research*, **150**, 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2022.02.032>
 - [36] Nejati, V., Sarraj Khorrami, A. and Nitsche, M.A. (2020) Transcranial Direct Current Stimulation Improves Reward Processing in Children with ADHD. *Journal of Attention Disorders*, **25**, 1623-1631. <https://doi.org/10.1177/1087054720923094>
 - [37] Kannen, K., Rasbach, J., Fantazi, A., Wiebe, A., Selaskowski, B., Asché, L., *et al.* (2024) Alpha Modulation via Transcranial Alternating Current Stimulation in Adults with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Frontiers in Psychology*, **14**, Article 1280397. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1280397>
 - [38] Breitling-Ziegler, C., Zaehle, T., Wellenhofer, C., Dannhauer, M., Tegelbeckers, J., Baumann, V., *et al.* (2021) Effects of a Five-Day HD-tDCS Application to the Right IFG Depend on Current Intensity: A Study in Children and Adolescents with Adhd. In: *Progress in Brain Research*, Elsevier, 117-150. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2021.01.014>
 - [39] Salehinejad, M.A., Ghanavati, E., Glinski, B., Hallajian, A. and Azarkolah, A. (2022) A Systematic Review of Randomized Controlled Trials on Efficacy and Safety of Transcranial Direct Current Stimulation in Major Neurodevelopmental Disorders: ADHD, Autism, and Dyslexia. *Brain and Behavior*, **12**, e2724. <https://doi.org/10.1002/brb3.2724>
 - [40] 唐睿, 宋洪文, 孔卓, 等. 经颅直流电刺激治疗常见神经精神疾病的临床应用专家共识[J]. 中华精神科杂志, 2022, 55(5): 327-382.
 - [41] Schena, A., Garotti, R., D'Alise, D., Giugliano, S., Polizzi, M., Trabucco, V., *et al.* (2023) IAmHero: Preliminary Findings of an Experimental Study to Evaluate the Statistical Significance of an Intervention for ADHD Conducted through the Use of Serious Games in Virtual Reality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **20**, Article 3414. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043414>
 - [42] Yang, C. and Kim, J.W. (2025) Neuromodulation as a Potential Intervention for Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the Korean Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, **36**, 2-10. <https://doi.org/10.5765/jkacap.240039>